

## **ГИРОСКОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ЕЗДЕ НА ВЕЛОСИПЕДЕ**

*Ю.А. Колесникова, студентка гр. 4Д01*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,*

E-mail: [yak35@tpu.ru](mailto:yak35@tpu.ru)

Природа гироскопического эффекта была описана ещё в 1851 году Леоном Фуко, который продемонстрировал суточное вращение Земли с помощью маятника. Позднее маятник Фуко был назван гироскопом.

В настоящее время гироскопический эффект применяется во многих отраслях человеческой деятельности, таких как: авиация, мореплавание, горное дело, спорт и др.

Наиболее простой пример гироскопического эффекта наблюдается при езде на велосипеде. При его повороте человек интуитивно отклоняется от вертикальной оси в сторону поворота, тем самым совершая поворот вокруг некой оси (назовём её  $CC'$ ), являющейся касательной к окружностям колёс. При этом сами колёса также поворачиваются вокруг этой оси с некоторой угловой скоростью  $\Omega$ . Тем не менее одновременно с этим колёса продолжают своё вращение вокруг собственных осей, перпендикулярных  $CC$ , с некоторой угловой скоростью  $\omega$ . Соответственно гироскопические моменты возникают согласно равенству:

$$M_z = J\omega\Omega \quad (1)$$

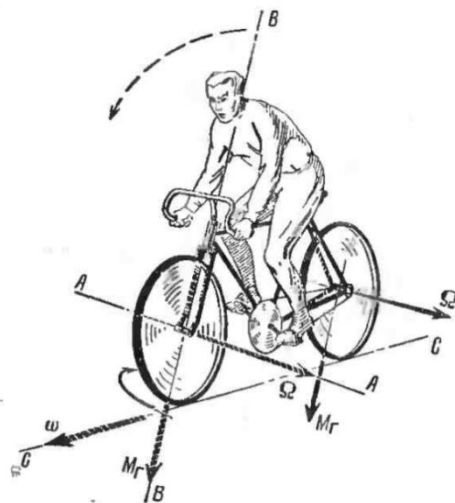
Их величины зависят от момента инерции колеса относительно оси, проходящей через его центр (назовём её  $AA'$ ), и угловых скоростей  $\Omega$  и  $\omega$ . Данная формула позволяет вычислить значение момента гироскопической реакции для любой детали, имеющей форму диска и вращающейся одновременно вокруг двух осей. Гироскопический момент, порождаемый инерцией массы заднего колеса, имеющего только одну степень свободы по отношению к раме велосипеда, будет погашен в жёстко закрепленных подшипниках, но поведение переднего колеса, имеющего по отношению к раме свободу вращения в рулевой колонке вокруг оси (назовём её  $BB'$ ) будет иным. Его масса, сопротивляясь изменению положения в пространстве оси своего вращения  $AA'$ , начнёт совершать поворот вокруг оси  $BB'$ , совпадающей по направлению с действием гироскопического момента  $M_r$ , то есть именно в том направлении, которое было необходимо для выполнения поворота.

Вследствие того, что эффект усиливается с увеличением массы колеса, так как именно масса обладает инертностью - другими словами именно масса обладает неизменностью состояния своего движения, независимо от того, находится она в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения - более значительную роль в управлении гироскопический эффект играет для мотоциклистов.

Наиболее ощутимо данный эффект проявляется при езде «без рук». Опыты, на основании которых делались выводы о влиянии гироскопического эффекта на устойчивость, проводились именно с «неуправляемым» велосипедом.

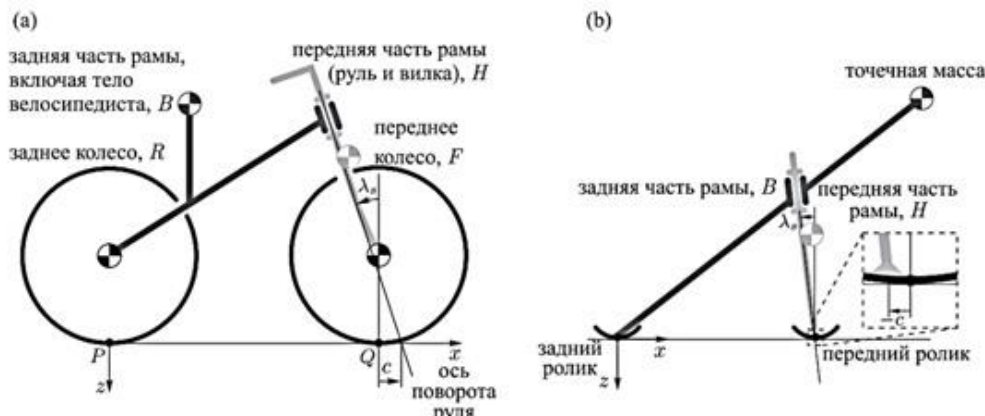
«... в отсутствие гироскопического действия диапазон скоростей полной устойчивости обращается в нуль» указано в главе о велосипеде четвертого тома трактата о гироскопе Клейна и Зоммерфельда [1].

Однако последние исследования утверждают, что гироскопический эффект не оказывает значительного стабилизирующего действия на систему человек-велосипед (моменты инерции и скорости недостаточно велики).



В своём труде о неуправляемом велосипеде [2] Джоунс сделал вывод о том, что гироскопический эффект, обсуждаемый в [1], никак не связан с наклоном и управляемостью. Так же он подчеркнул важность расположения точки контакта переднего колеса с землей позади поворотной оси.

Джоунс рассуждает о том, что устойчивость неуправляемого велосипеда зависит от положительного выноса.



Сторонники обеих теорий задумались, могут ли гироскопический вклад и положительный вынос быть равноценно необходимы и достаточны для устойчивости велосипеда. В статье [3] провели анализ линеаризованных уравнений движения [4] и определили, что устойчивость теряется при условии, когда гироскопические моменты принимаются равными нулю. Однако при этом была получена модель велосипеда, способная оставаться устойчивой без гироскопического вклада.

Данные эксперименты наводят на мысль о том, что при подходящей регулировке одного из параметров устойчивости возможно возникновение новой оптимизированной формы велосипеда, в результате более углубленного исследования потенциально полезных областей конструирования в пространстве проектных параметров.

#### **Список литературы:**

1. Klein F., Sommerfeld A. *Über die Theorie des Kreisel* " s. Leipzig: Teubner, 1910. P. 863–884.
2. Джоунс Д. Почему устойчив велосипед? // Квант, 1970, № 12, с. 24–30. [Jones D. E. H. The stability of the bicycle // *Phys. Today*, 1970, vol. 23, no. 4, pp. 34–40 (reprinted in September 2006).]
3. Я. Д. Г. Куйман, Я. П. Мейяард, Д. М. Пападопулос, Э. Руина, А. Л. Шваб, Неуправляемый велосипед может быть устойчивым без гироскопического или стабилизирующего действия, *Нелинейная динам.*, 2013, том 9, номер 2, 377–386
4. Meijaard J. P., Papadopoulos J. M., Ruina A., Schwab A. L. Linearized dynamics equations for the balance and steer of a bicycle: A benchmark and review // *Proc. R. Soc. Lond. Ser. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 2007, vol. 463, no. 2084, pp. 1955–1982.
5. Павлов А.В. Гироскопический эффект. Его проявление и использование, изд. 3. 1972.